

Магнитоэлектрические композиты для применения в сенсорах и устройствах для сбора энергии

А.Л. Холкин^{1,2,3}, J.V. Vidal⁴, А. Турутин³, А.М. Кислюк³, И.В. Кубасов³, С.П. Кобелева³, М.Д. Малинкович³, Ю.Н. Пархоменко³, Н. Соболев^{3,4}

¹*Department of Physics & CICECO – Aveiro Institute of Materials, 3810-193 Aveiro, Португалия
e-mail: kholkin@ua.pt*

²*Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет, 620000
Екатеринбург, Россия*

³*Национальный Исследовательский Технологический Университет (НИТУ) «МИСиС», 119991
Москва, Россия*

⁴*Physics Department & I3N, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Португалия*

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект определяется как возникновение поляризации под действием магнитного поля (прямой эффект) и, наоборот, возникновение намагниченности под действием электрического поля (обратный эффект). Этот эффект вызывал огромный интерес в научном сообществе в последние годы. Было показано, что в отличие от однофазных магнитоэлектриков, многочисленные МЭ композиты, сочетающие упруго связанные пьезоэлектрические (ПЭ) и магнитострикционные (МС) фазы, дают очень сильные МЭ эффекты даже при комнатной температуре. Эти структуры также предлагают большую гибкость в том смысле, что большое количество параметров можно контролировать независимо, включая свойства материалов составляющих фаз, а также связь между ними. Поэтому, в настоящее время эти композиты могут применяться в различных устройствах, которые включают: сенсоры постоянного и переменного магнитного поля, датчики электрического тока в высоковольтных линиях, магнитоэлектрические устройства для сбора энергии, устройства памяти с несколькими состояниями, микродатчики в считывающих головках, трансформатор, фазовращатели, диоды, генераторы спиновых волн и электрически контролируемые микроволновые устройства.

В настоящей работе описывается разработка и применение различных магнитоэлектрических композитов, изготовленных из магнитострикционного метгласа и таких пьезоэлектриков, как LiNbO_3 (LNO), GaPO_4 (GPO) и твердых растворов $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ - PbTiO_3 (PMN-PT). Измерения выполнялись в зависимости от среза образца, величины и ориентации поля подмагничивания, и частоты поля модуляции. Несмотря на гораздо более слабые ПЭ коэффициенты в LNO и GPO, было обнаружено, что прямые МЭ эффекты имеют такие же величины, как и в хорошем пьезоэлектрике PMN-PT. Было исследовано увеличение МЭ коэффициентов в определенных резонансных режимах и исследована их связь со свойствами материалов пьезоэлектриков и геометрией композитов. Показано, что, контролируя ориентацию кристаллов, можно получить желаемую анизотропию МЭ свойств для квазистатического и резонансного режимов. Оказалось, что МЭ эффект в образцах бидоменных LNO в два раза больше, чем в их монокристаллических аналогах. Получены большие МЭ эффекты в низкочастотных режимах электромеханического резонанса необходимые для сбора энергии и биомедицинских применений. Следует отметить тот факт, что контурные резонансы были подавлены в бидоменных системах, тогда как изгибные режимы были значительно усилены. На частоте изгибного резонанса 6862 Гц было найдено гигантское значение МЭ коэффициента α_{E31} порядка 1700 В/(смЭ) в ламинатном композите метглас/бидоменный кристалл ниобата лития (Рис. 1). Кроме того, эквивалентная спектральная плотность магнитного шума исследованного композитного материала составила около 100 фТл/(Гц^{1/2}), что является рекордным значением для такой низкой рабочей частоты (Рис. 2). Таким образом, показано, что подобные системы могут быть использованы в достаточно простых и чувствительных низкочастотных магнитных и токовых сенсорах [1-3], а также в устройствах одновременного сбора магнитной и механической энергии [4].

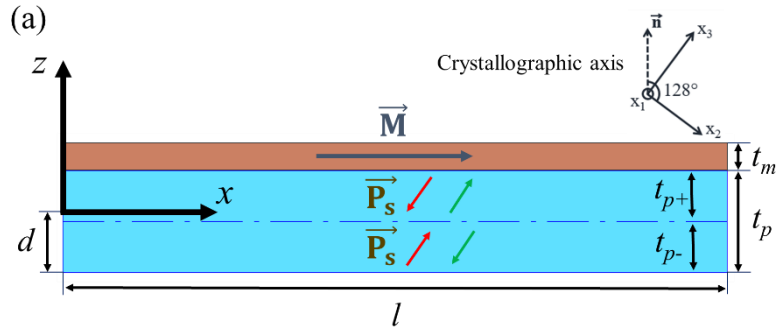


Рисунок 1. Схематическое изображение сенсора магнитного поля на основе бидоменного кристалла ниобата лития и слоя метгласа.

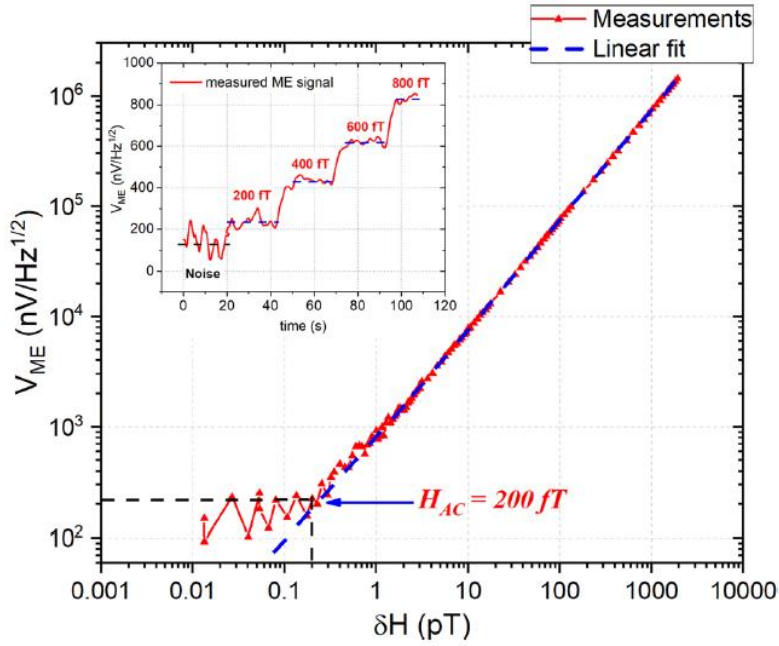


Рисунок 2. Нормированное МЭ напряжение как функция переменного магнитного поля на частоте 6862 Гц. Подмагничивающее поле 5 Э. Адаптировано из [3].

1. A.V. Turutin, J.V. Vidal, I.V. Kubasov, A.M. Kislyuk, D.A. Kiselev, M.D. Malinkovich, Y.N. Parkhomenko, S.P. Kobeleva, A.L. Kholkin, N.A. Sobolev, *J. Magn. Magn. Matls* **486**, 185209 (2019).
2. J.V. Vidal, A.V. Turutin, I.V. Kubasov, M.D. Malinkovich, S.P. Kobeleva, A.L. Kholkin, N.A. Sobolev, *IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control* **64**, 1102 (2017).
3. A.V. Turutin, J.V. Vidal, I.V. Kubasov, A.M. Kislyuk, M.D. Malinkovich, Y.N. Parkhomenko, S. P. Kobeleva, O.V. Pakhomov, A.L. Kholkin, N.A. Sobolev, *Appl. Phys. Lett.* **112**, 262906 (2018).
4. J.V. Vidal, A.V. Turutin, I.V. Kubasov, A.M. Kislyuk, M.D. Malinkovich, Y.N. Parkhomenko, S.P. Kobeleva, N.A. Sobolev, A.L. Kholkin, *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. & Freq. Control* **67**, 1219 (2020).